

На правах рукописи



ТЕПЛИЦКАЯ Дарья Геннадьевна

**МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ
РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ
ОБРАБОТКЕ СЕМЯН РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

03.01.05 – Физиология и биохимия растений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Пенза 2022

Работа выполнена на кафедре «Общая биология и биохимия» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ПГУ»)

Научный руководитель: **Карпова Галина Алексеевна**
доцент, доктор сельскохозяйственных наук,
заведующий кафедрой «Общая биология и
биохимия» ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет»

Официальные оппоненты: **Белопухов Сергей Леонидович**
профессор, доктор сельскохозяйственных наук,
и.о. директора института агробиотехнологии
ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
Крутова Елена Константиновна
доцент, кандидат биологических наук,
заведующий кафедрой «Ботаника, физиология и
защита растений» ФГБОУ ВО «Нижегородская
государственная сельскохозяйственная
академия»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный
аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Защита диссертации состоится «25» мая 2022 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета Д 220.038.04 на базе ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13 (главный корпус, 2 этаж, ауд. 209).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» и на сайте – <http://www.kubsau.ru>, с авторефератом – на официальных сайтах: Высшей аттестационной комиссии – <http://www.vak.ed.gov.ru> и ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» – <http://www.kubsau.ru>.

Автореферат разослан «__» апреля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, доктор сельскохозяйственных
наук, профессор



Л.М. Онищенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Потенциальная продуктивность современных сортов зерновых культур детерминирована генотипом. Реализация генетической программы развития в растительном организме осуществляется через множественные коррелятивные связи между физиолого-биохимическими процессами и органами, обеспечивающими их взаимодействие, необходимое для полной реализации процессов роста растений в меняющихся условиях внешней среды.

Активизация морфофизиологических функций посредством внешнего воздействия на растительные организмы может оказать существенное влияние на показатели их конечной продуктивности. Применение регуляторов роста с этой целью в настоящее время является одним из направлений интенсификации сельскохозяйственного производства. Всестороннее изучение особенностей морфофизиологических процессов в онтогенезе растений как факторов определяющих формирование их продуктивности под действием регуляторов роста в условиях почвенно-климатической зоны конкретного региона может послужить теоретической основой интенсификации растениеводства данного региона.

Степень разработанности проблемы. Фиторегуляторы различной природы и спектра действия способны оказать влияние на процессы роста, морфогенеза, метаболическую активность, а также донорно-акцепторные взаимоотношения в целом растении, о чем имеются достаточные сведения в литературе (Кефели В.И., 1974; Муромцев Г.С., 1987; Швелуха В.С., 1992; Кулаева О.Н., 2002; Костин В.И., 2006; Пузина Т.И., 1999, 2015, 2018; Давидянц Э.С., 2014).

На фоне их применения повышаются адаптивные возможности растений (Шаповал О.А. и др., 2014; Кошкин Е.И., 2016; Лукаткин А.С., 2019; Осипова Л.В., Курносова Т.Л. и др., 2018; Безрукова М.В., Кудоярова Г.Р. и др., 2021), увеличивается биологическая и хозяйственная продуктивность (Ковалев В.М., 1997; Табаленкова Г.Н., 2007; Новиков Н.Н., 2010; Гамзаева Р.С., 2016; Серегина И.И., Белопухов С.Л. и др., 2021). Однако, регуляторные эффекты при использовании различных препаратов, как правило, специфичны, то есть имеют различную степень проявления в разных климатических условиях и на различных культурах.

Цель и задачи исследований. Цель исследований – изучить морфофизиологические процессы в онтогенезе растений пшеницы

и ячменя с учетом агроклиматических условий региона при предпосевной обработке семян регуляторами роста.

Задачи исследований определены в соответствии с поставленной целью:

- изучить метаболическую активность семян при прорастании под действием регуляторов роста;
- оценить эффект обработки регуляторами роста на ростовые и физиологические процессы проростков пшеницы и ячменя;
- изучить динамику ростовых процессов в онтогенезе растений, особенности фотосинтетической активности листового аппарата и продуктивность посевов яровой пшеницы и ячменя при предпосевной обработке семян в агроклиматических условиях региона.

Научная новизна. Исследования морфофизиологических процессов в онтогенезе растений районированных сортов яровой мягкой пшеницы Экада 113 и ячменя Сурский фаворит при предпосевной обработке семян регуляторами роста Мивал-Агро, Эпин-Экстра, Рибав-Экстра и Крезацин в условиях Пензенской области проведены впервые. Выявлены особенности метаболической активности семян при прорастании, определяющие показатели их посевных качеств и полевую всхожесть. На ранних этапах онтогенеза показаны изменения скорости ростовых процессов, повышение содержания фотосинтетических пигментов и их соотношений, активности ферментов антиоксидантной системы (пероксидазы), что может явиться предпосылкой к повышению адаптивных возможностей растений в период вегетации. Определены изменения функциональной активности листового аппарата растений в посевах, имеющие положительную корреляцию с хозяйственной продуктивностью.

Практическая значимость. С учетом агроклиматических условий региона экспериментально подтверждена возможность использования регуляторов роста Рибав-Экстра, Мивал-Агро и Крезацин при предпосевной обработке семян в технологии выращивания районированных сортов яровой мягкой пшеницы Экада 113 и ячменя Сурский фаворит. Изменение морфологических и физиологических параметров в онтогенезе растений пшеницы и ячменя при предпосевной обработке семян выражается в показателях биологической и хозяйственной продуктивности. Активизация ростовых и фотосинтетических функций растительных организмов позволяет получить урожай зерна пшеницы в среднем за три года 3,14-3,25 т/га (прибавка к контролю – 0,47-0,58т/га), ячменя – 3,28-3,31т/га (прибавка к контролю – 0,59-0,62т/га).

Методология и методы диссертационного исследования основаны на общенаучных методах, включающих методы эмпирического исследования и общелогические методы: наблюдение, эксперимент, измерение, описание, анализ, синтез, аналогия, конкретизация и обобщение.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Под действием препаратов Эпин-Экстра, Мивал-Агро, Рибав-Экстра и Крезацин изменяется метаболическая активность семян при прорастании. Энергия прорастания и всхожесть находятся в корреляционной зависимости от суммарной активности α - и β -амилазы, пероксидазы.

2. При предпосевной обработке семян регуляторами роста увеличиваются линейные и количественные морфометрические показатели проростков, возрастает количество фотосинтезирующих пигментов, активируются процессы фотосинтеза и дыхания.

3. В онтогенезе растений при обработке семян изучаемыми препаратами изменяется интенсивность процессов роста при сохранении их характера и направленности, увеличивается ассимиляционная поверхность агроценоза, возрастает фотосинтетический потенциал и продуктивность посевов яровой пшеницы и ячменя в агроклиматических условиях Среднего Поволжья.

Степень достоверности результатов исследований обусловлена наличием эмпирических данных, полученных при проведении лабораторных и полевых опытов в течение трех лет (2017-2019 гг.), статистически обработанных с использованием методов корреляционного и регрессионного анализа и t-критерия Стьюдента (уровень значимости 5%).

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы изложены на Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Г.Б. Гальдина «Роль вузовской науки в решении проблем АПК» (Пенза, 24-25 октября 2018); IX Международной научной конференции «Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии» (Москва, 15-16 декабря 2019); Международной научной конференции «Механизмы регуляции продукционного процесса растений: от молекул до экосистем» в рамках V Ефремовских чтений (Орёл, 26 ноября 2021); Всероссийской научно-практической конференции «Современная биология и биотехнология: проблемы, тенденции, перспективы» (Волгоград, 23-25 ноября 2021), а также опубликованы в рецензируемых журналах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Работа представлена на 157 страницах компьютерного текста, включает введение, четыре главы, заключение, выводы и предложения производству. Графическое изложение результатов представлено 27 таблицами, 17 рисунками, 18 приложениями. Список литературы включает 197 источников, в том числе 44 иностранных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Условия и методика проведения исследований

Исследования проводились в 2017-2019 гг. на базе кафедры «Общая биология и биохимия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет» (лабораторные опыты) и ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ» (полевые опыты).

Характеристика вегетационного периода: сумма активных температур колебалась от 1667,8°C (2017) до 2091,7°C (2019), сумма осадков – от 124,1 мм (2018) до 210,1 мм (2017). Гидротермический коэффициент (ГТК) по годам исследований составил: 1,26 (2017); 0,66 (2018); 0,70 (2019).

Характеристика почв: легкосуглинистый среднemocный чернозем выщелоченный. Содержание гумуса в верхнем горизонте 4,8-4,9%, щелочногидролизуемого азота (по Корнфильду) – 119,9-120,6 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 101,7-102,1 мг/кг почвы, обменного калия (по Чирикову) – 151,8-152,1 мг/кг почвы. В малых количествах отмечены подвижные формы бора, марганца, молибдена, кобальта, меди и цинка.

Объекты исследований:

- яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт Экада 113.
- яровой ячмень (*Hordeum sativum* L.), сорт Сурский фаворит.

Регуляторы роста использовали в концентрациях в соответствии с рекомендациями производителей: Рибав-Экстра – $3 \cdot 10^{-4}$ л/л, Эпин-Экстра – $5 \cdot 10^{-4}$ л/л, Мивал-Агро – 0,5 г/л, Крезацин – $1 \cdot 10^{-3}$ л/л.

Рибав-Экстра: 0,00152 г/л L-аланина + 0,00196 г/л L-глутаминовой кислоты. Эпин-Экстра: 0,025 г/л эпибрасинолида. Мивал-Агро: 760 г/кг триэтаноламмониевой соли ортокрезоксиуксусной кислоты + 190 г/кг 1-хлорметилсилатрана. Крезацин (крезолан): 480 г/л триэтаноламмониевой соли ортокрезоксиуксусной кислоты.

Определение степени набухания семян проводили по методике У. Руге в изложении О.А. Вальтера и соавт. (1957). Активность гидролитических

ферментов (амилазы) в семенах определяли по количеству гидролизованного крахмала (Плешков Б.П., 1985). Определение активности пероксидазы проводили спектрофотометрическим методом по окислению гваякола в присутствии перекиси водорода. Энергию прорастания и всхожесть изучали по методике ГОСТ 12038-84. Определение содержания пигментов проводили спектрофотометрическим методом (Третьяков Н.Н., 2003), интенсивности фотосинтеза – методом ассимиляционной пробы по Л.А. Иванову и др. (1950). Динамику линейных и количественных показателей проростков оценивали путем измерения длины ростка, максимальной длины зародышевого корешка, средней длины корешков на растении, количества корешков на 7, 9 и 11 сутки. Листовую поверхность растений вычисляли с учетом средней площади листа и количества листьев, с учетом количества растений вычисляли ассимиляционную поверхность агроценоза по фазам вегетации. Для определения биомассы и сухого вещества растения (20 шт.) взвешивали и затем высушивали в термостате при 105°C до постоянной массы. Фотосинтетический потенциал регистрировали в агроценозах с учетом межфазных периодов и в целом за вегетацию по общепринятым методикам (Третьяков Н.Н., 2003). Чистую продуктивность фотосинтеза определяли по А.А. Ничипоровичу (1961). Хозяйственную продуктивность (урожайность) определяли на каждой делянке опыта. Массу зерна получали после обмолота растений на сноповой молотилке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Морфофизиологические процессы при прорастании семян пшеницы и ячменя

Возможность прорастания семян определяется их метаболическим состоянием, при котором стимулирующий фактор способен оказать воздействие, а семя способно ответить на это воздействие. Доступность воды обуславливает набухание, которое обеспечивает активацию метаболизма и последующее прорастание (Обручева Н.В., 2012).

В исследованиях установлено, что при набухании зерновок пшеницы и ячменя в контрольном варианте и в вариантах с регуляторами роста сохраняется классическая тенденция поступления воды, имеющая трехфазный характер. На контроле через 10 часов влажность зерновок пшеницы достигала значений 60,2%, что соответствовало окончанию первого этапа набухания – быстрого поступления воды (рисунок 1). Второй этап набухания, которому соответствует медленное поступление воды, в кон-

трольном варианте длился до завершения измерений. Динамика степени набухания в вариантах с Крезацином и Рибавом-Экстра значительно отличалась от контроля. Быстрое поступление воды завершилось через 8 часов, где показатели влажности соответствовали 57,7% (Рибав-Экстра) и 58,8% (Крезацин). Второй этап сокращался до трех-четырёх часов.

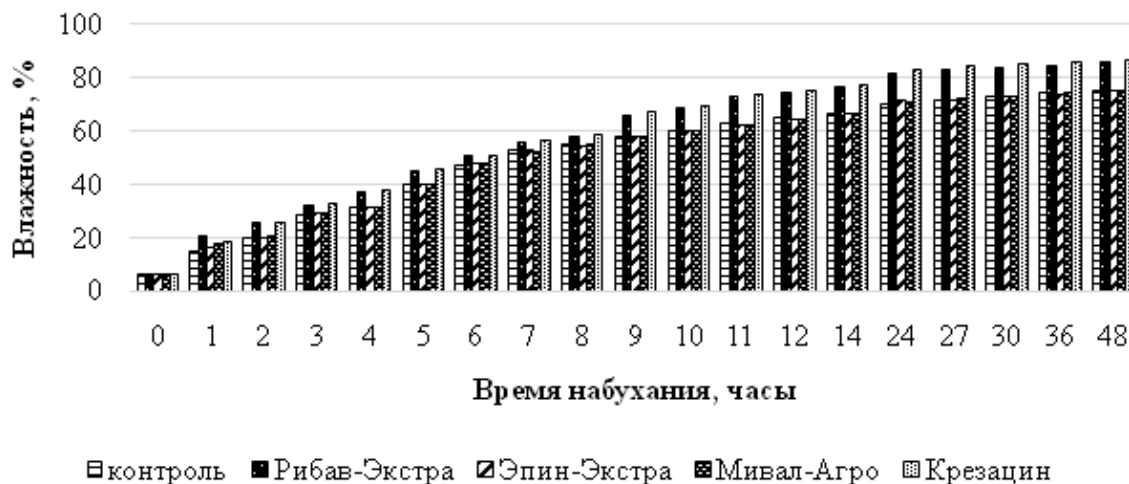


Рисунок 1 – Степень набухания зерновок пшеницы, %

Первый этап набухания зерновок ячменя на контроле завершился через 14 часов (влажность 59,5%) (рисунок 2). При использовании Крезацина и Рибав-Экстра первый этап завершился через 10 часов в варианте с Крезацином (влажность 60,0%), и через 11 часов в варианте с Рибавом-Экстра (60,5%). Второй этап синхронно завершился через 30 часов набухания.

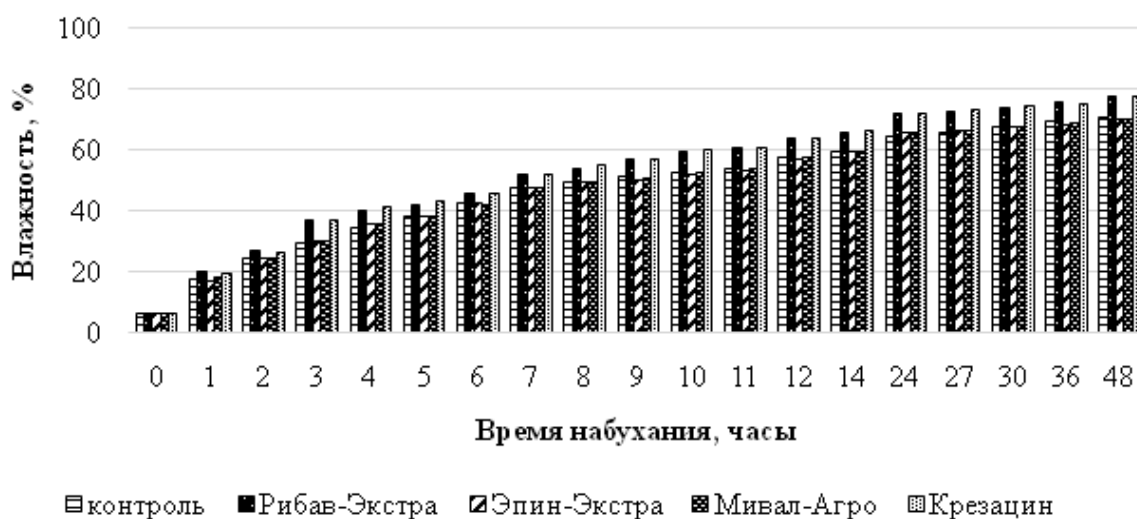


Рисунок 2 – Степень набухания зерновок ячменя, %

Проведенные исследования показали, что обработка препаратами Крезацин и Рибав-Экстра приводит к сокращению временного промежутка прохождения основных этапов набухания семян на обеих культурах, что может приводить к повышению активности метаболических процессов под действием данных препаратов.

В первые часы набухания семян происходит либо переход уже имеющихся ферментов в активное состояние, либо их синтез, либо активация и синтез одновременно, что обуславливает повышение дыхания и утилизацию запасных веществ семени (Кондратьев М.Н, 2011).

Распад вторичных метаболитов, отложенных в запас и необходимых для обеспечения прорастания, осуществляется на разных временных промежутках. В течение первых минут происходит использование простых углеводов, поддерживающих дыхание зародыша. В течение первых 24 часов фиксируется избирательный распад запасных углеводов, катализируемый ферментами под контролем гормональной системы (Майер А.М., 1982).

Установлено, что суммарная активность α - и β -амилазы в зерновках пшеницы под действием Крезацина возрастала на 7,7-10,0% (тах увеличение через 1 час после намачивания), Рибав-Экстра – на 12,5-15,1% (тах через 2 часа) (таблица 1). В опытах на зерновках ячменя под действием Эпина-Экстра активность гидролитических ферментов увеличивалась на 2,4-10,1%, Мивала-Агро – на 4,7-10,1% (тах увеличение через 4 часа).

Таблица 1 – Активность α - и β -амилазы в зерновках пшеницы при набухании, мг /мл·час($\times 10^{-4}$)

Время набухания, час	Вариант				
	контроль	Рибав-Экстра	Эпин-Экстра	Мивал-Агро	Крезацин
Сухие зерновки	23,11±0,02	-	-	-	-
1	71,11±0,02	80,00±0,01	72,89±0,02	71,11±0,02	78,22±0,01
2	94,22±0,02	108,44±0,01	99,56±0,01	101,33±0,03	103,11±0,02
3	138,67±0,01	156,44±0,01	142,22±0,03	140,44±0,01	149,33±0,01
4	199,11±0,03	199,11±0,01	200,89±0,01	199,11±0,01	197,33±0,01
8	205,41±0,01	206,00±0,03	204,34±0,02	205,53±0,01	206,11±0,01
12	207,14±0,03	206,76±0,01	207,52±0,01	206,93±0,03	207,88±0,03

Рибав-Экстра вызывал повышение активности общей амилазы на 7,1-17,0%, Крезацин – на 9,5-20,8% (тах превышения через 2 часа набухания) (таблица 2). Обнаружена положительная корреляция между активностью ферментов (3 часа набухания) и энергией прорастания: для пшеницы $R = 0,9548$, $y = 0,548x + 4,3381$, для ячменя $R = 0,8964$, $y = 0,4836x + 12,319$.

Таблица 2 – Активность α - и β -амилазы в зерновках ячменя при набухании, мг /мл·час ($\times 10^{-4}$)

Время набухания, час	Вариант				
	контроль	Рибав-Экстра	Эпин-Экстра	Мивал-Агро	Крезацин
Сухие зерновки	28,91±0,04	-	-	-	-
1	75,88±0,03	81,30±0,01	77,69±0,02	79,49±0,02	83,11±0,08
2	95,75±0,02	112,01±0,08	101,17±0,02	102,98±0,01	115,63±0,02
3	140,92±0,03	158,99±0,02	146,34±0,03	147,54±0,01	160,79±0,02
4	178,86±0,31	199,75±0,02	196,93±0,01	196,93±0,04	198,74±0,02
8	197,11±0,04	201,07±0,03	198,04±0,01	198,13±0,01	200,17±0,02
12	201,41±0,08	202,76±0,02	201,52±0,01	201,93±0,02	202,88±0,03

Уже в первые часы набухания семян регистрируется изменение активности ферментов антиоксидантной системы, в том числе пероксидазы (Рогожин В.В., 2012). Установлено, что обработка зерновок пшеницы Эпином-Экстра вызывала увеличение активности фермента через 4 часа на 100%, в последующие часы – на 87,0-91,7% (таблица 3). При использовании Мивала-Агро наблюдалось увеличение изучаемого показателя на 105,6-117,6%, Рибав-Экстра – 149,2-163,0% и Крезацина – 207,4-224,4%. В варианте с Эпином-Экстра активность пероксидазы в зерновках ячменя возрастала на 89,3-166,8% относительно контрольных значений. Мивал-Агро способствовал повышению активности фермента на 100,5-188,0%, Рибав-Экстра – 142,8-236,9%, Крезацин – 199,3-329,3%.

На обеих культурах максимальные превышения контрольных значений под действием регуляторов роста фиксировались через 4 часа набухания зерновок. Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали положительную корреляцию между активностью пероксидазы (через 24 часа набухания) и энергией прорастания: для пшеницы $R = 0,7705$, $y = 0,0501x + 75,181$; для ячменя $R = 0,7027$, $y = 0,0512x + 76,156$.

Таблица 3 – Активность пероксидазы в зерновках пшеницы и ячменя (ед/1 г сырой массы · мин)

Вариант	Время набухания, часы			
	4	8	12	24
Пшеница				
Контроль	66,42±0,36	75,54±0,67	79,44±0,24	82,38±0,42
Рибав-Экстра	174,66±1,03	188,28±0,28	201,06±0,55	210,84±0,42
Эпин-Экстра	132,78±0,79	141,54±0,24	149,82±0,61	157,98±1,97
Мивал-Агро	144,54±0,31	155,34±0,55	165,96±0,18	174,12±0,12
Крезацин	215,46±0,28	232,20±1,43	246,42±0,10	257,52±0,12
Ячмень				
Контроль	50,52±0,24	69,72±0,16	79,32±0,06	86,58±0,21
Рибав-Экстра	170,22±0,16	187,20±0,42	200,88±0,75	210,30±0,16
Эпин-Экстра	134,82±0,42	147,06±0,37	152,64±0,10	163,92±0,22
Мивал-Агро	145,50±0,16	158,16±0,24	169,06±0,16	173,64±0,22
Крезацин	216,90±0,10	230,46±0,16	249,06±0,37	259,14±0,16

Основными показателями для оценки посевных качеств семян выступают энергия прорастания и всхожесть. При обработке семян пшеницы фиторегуляторами Рибав-Экстра и Крезацин показатели энергии прорастания и лабораторной всхожести увеличивались относительно контроля на 8,3% и 10,4% (Рибав-Экстра) и 6,9% и 7,0% (Крезацин) (рисунок 3,4).

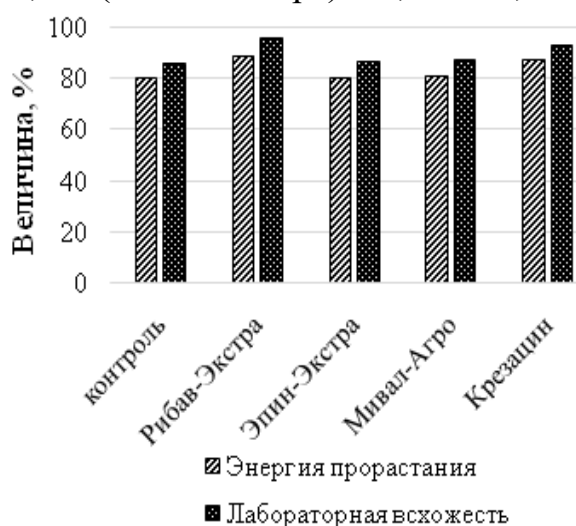


Рисунок 3 – Энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян пшеницы (2017-2019 гг.)

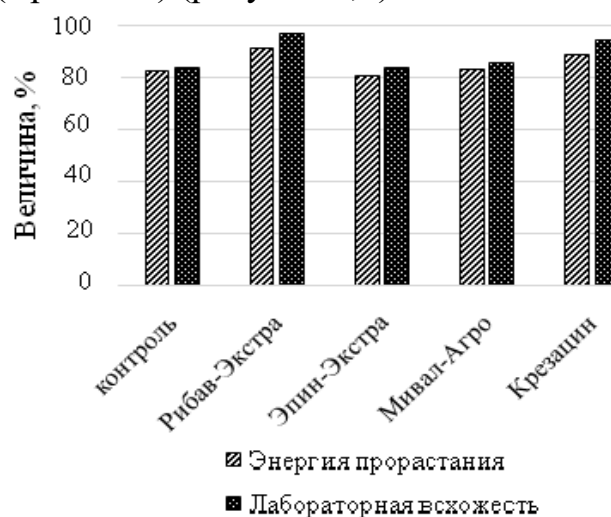


Рисунок 4 – Энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян ячменя (2017-2019 гг.)

В вариантах на ячмене Рибав-Экстра и Крезацин способствовали увеличению показателей на 8,9% и 13,4%; 6,5% и 10,6% соответственно. Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали прямую зависимость между энергией прорастания и лабораторной всхожестью (для пшеницы коэффициент корреляции $R = 0,9836$, уравнение регрессии: $y = 1,0729x - 0,0342$, для ячменя $R = 0,9847$, $y = 1,3452x - 25,803$).

В результате проведенных исследований установлено повышение полевой всхожести семян пшеницы и ячменя при предпосевной обработке регуляторами роста (рисунок 5, 6). Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали высокую зависимость между лабораторной и полевой всхожестью 2017 года (ГТК-1,26) пшеницы ($R = 0,7945$; $y = 0,854x + 10,462$) и ячменя ($R = 0,9171$; $y = 0,6084x + 31,645$). Между лабораторной всхожестью и полевой всхожестью 2018 года (ГТК-0,66) пшеницы обнаружена средняя корреляция ($R = 0,6993$, $y = 0,3338x + 41,128$), ячменя – слабая отрицательная корреляция ($R = -0,1935$, $y = -0,1048x + 80,288$).

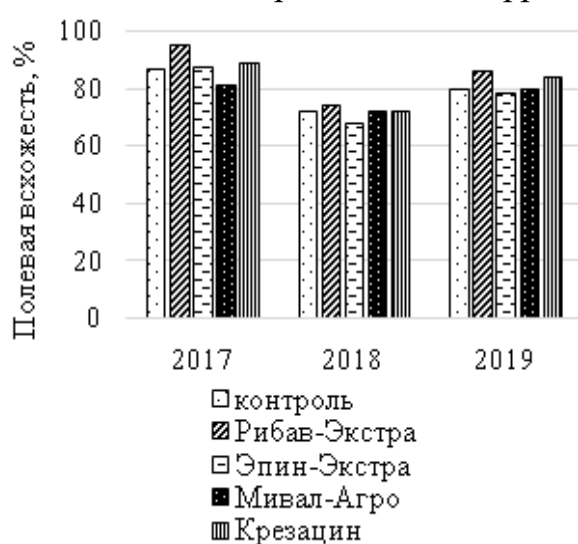


Рисунок 5 – Показатели полевой всхожести семян пшеницы (2017-2019 гг.)

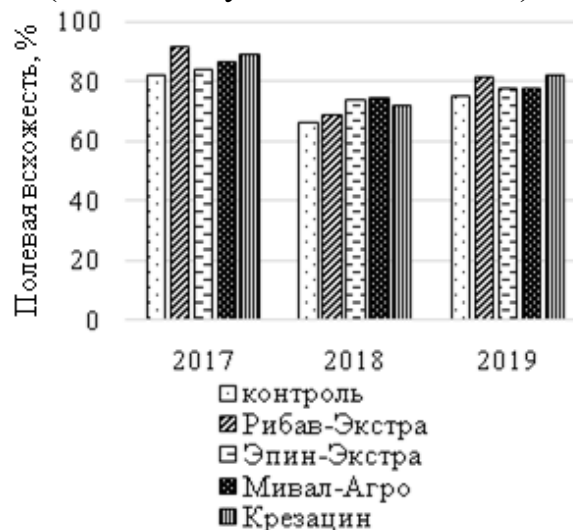


Рисунок 6 – Показатели полевой всхожести семян ячменя (2017-2019 гг.)

Период всходы-кущение 2018 года характеризовался низким количеством осадков (ГТК - 0,08), что объясняет различия между полевой и лабораторной всхожестью. Между лабораторной и полевой всхожестью 2019 года (ГТК-0,70) семян пшеницы коэффициент корреляции составляет 0,9727, уравнение регрессии: $y = 0,6858x + 19,338$, ячменя – $R = 0,9500$, $y = 0,4905x + 35,374$.

Активизация процессов метаболизма при набухании и прорастании зерновок пшеницы и ячменя реализуется в стратегии роста проростков, которая объективно отражает интенсивность начальных процессов, происходящих в семени. Стратегию роста под действием изучаемых препаратов рассматривали в динамике у проростков в возрасте 7, 9, и 11 суток по регистрации линейных (длина ростка, длина корня) и количественных показателей (количество нормально развитых корней).

Длина ростка пшеницы в варианте с Эпином-Экстра превышала контрольные показатели в возрасте 9 и 11 суток на 2,4% и 2,3% соответственно. Количество корней возрастало на 9,9%. Мивал-Агро вызывал увеличение длины ростка у проростков в возрасте 7 суток на 2,6%. Количество развитых корней возрастало на 10,6%. В варианте с применением Рибав-Экстра длина ростка увеличивалась на 43,1-48,9% (max превышения в возрасте 9 суток). Количество корней возрастало на 22,4%, средняя длина всех корней – 29,1-43,0%, длина трех наиболее развитых корней – 42,0-50,8%, максимальная длина корня – 43,7-52,1%. Длина ростка под действием Крезацина у 7-11-суточных проростков увеличивалась на 50,1-55,6% (max превышение в возрасте 9 суток); количество развитых корней – 34,4%; средняя длина всех корней – 36,4-50,6%; длина трех наиболее развитых корней – 48,4-57,7%; максимальная длина корня – 50,6-61,5%.

При обработке семян ячменя препаратами Эпин-Экстра и Мивал-Агро наблюдалась только некоторая стимуляция роста корней. Рибав-Экстра вызывал увеличение длины ростка на 52,5-56,6%. Количество корней увеличивалось на 17,6%; средняя длина всех корней – 42,3-50,6%, средняя длина трех наиболее развитых корней – 43,0-51,6%, максимальная длина корня – 44,9-52,2%. При использовании Крезацина длина ростка возрастала на 10,2-19,6%; количество корней – 19,1%; средняя длина всех корней – 26,0-43,3%; средняя длина трех наиболее развитых корней – 29,8-46,4%; максимальная длина корня – 35,1-50,2%. Можно предположить, что регуляторы роста оказывают разное стимулирующее воздействие на культуры и их влияние носит видоспецифичный характер, что имеет определенное практическое значение при использовании препаратов в сельскохозяйственном производстве.

Пероксидаза, наряду с другими ферментами составляет антиоксидантную систему защиты растений, цель которой защитить организм от окислительного шока в период интенсивного роста посредством инактивации

ции активных форм кислорода. В этой связи в семенах и последующих проростках отмечена высокая активность фермента (Рогожин В.В., 2004).

У проростков пшеницы в возрасте 7 суток активность пероксидазы под действием изучаемых препаратов возрастала на 48,6-116,9%, 9 суток – на 44,9-121,0%, 11 суток – на 39,2-111,0% (таблица 4).

Таблица 4 – Активность пероксидазы в проростках пшеницы и ячменя (ед/г сырой массы·мин)

Вариант	Время прорастания, сутки		
	7	9	11
Пшеница			
Контроль	877,20±1,59	918,60±2,40	1131,73±1,07
Рибав-Экстра	1371,00±6,35	1468,80±1,04	1867,73±1,17
Эпин-Экстра	1307,40±2,26	1330,80±2,16	1575,47±1,05
Мивал-Агро	1303,20±3,60	1386,60±1,20	1622,40±0,43
Крезацин	1902,60±1,04	2034,00±3,60	2386,1330±4,27
Ячмень			
Контроль	885,00±2,16	946,80±1,80	1262,93±2,13
Рибав-Экстра	1352,40±6,35	1508,40±5,20	1813,33±2,13
Эпин-Экстра	1322,40±1,59	1367,40±3,65	1605,33±2,82
Мивал-Агро	1290,60±2,08	1411,80±1,20	1729,07±5,64
Крезацин	1935,60±2,16	2161,20±0,60	2381,87±4,65

В проростках ячменя увеличение активности фермента относительно контроля на 7 сутки составляло 45,8-118,7%, на 9 сутки – 44,4-128,2%, на 11 сутки – 27,1-88,5%.

При прорастании семян и развитии проростков важным аспектом является формирование фотосинтезирующей системы первых листьев. Влияние регуляторов роста на формирование фотосинтезирующей системы оценивали по содержанию хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов в динамике у 7-11 суточных проростков. Стабильное повышение содержания хлорофилла *a* в проростках давала обработка семян препаратами Рибав-Экстра и Крезацин (14,2-15,1%). Статистически достоверных различий между вариантами выявлено не было. Содержание хлорофилла *b* в варианте с Рибавом-Экстра превышало контроль на 7 (94,7%), 9 (85,9%) и 11 сутки (78,1%). Максимальные показатели содержания хлорофилла *b* отмече-

ны в варианте с Крезацином (превышение составило 99,1%, 90,5%, 84,4% в возрасте 7, 9 и 11 суток соответственно). Рибав-Экстра способствовал повышению суммы хлорофиллов в проростках пшеницы на 33,0-35,5%, Крезацин – 34,4-36,7% (максимум превышения на 7 сутки). Различия в данных вариантах были статистически достоверны ($P < 0,05$). Содержание каротиноидов в варианте с Эпином-Экстра увеличивалось на 2,6-5,2% (максимум в возрасте 9 суток). Рибав-Экстра повышал содержание каротиноидов в проростках на 2,2-8,8%, Крезацин – 4,9-10,4% (максимум в возрасте 7 суток).

Крезацин увеличивал содержание хлорофилла *a* в проростках ячменя на 15,4-15,9%, Рибав-Экстра – 19,8-20,9%. При обработке Рибавом-Экстра и Крезацином у 7-суточных проростков количество хлорофилла *b* увеличивалось на 124,7% и 140,0%, 9-суточных – 73,3% и 86,4%, 11-суточных – на 73,5% и 87,1%. Сумма хлорофиллов *a* и *b* под действием Крезацина и Рибав-Экстра увеличивалась на 34,6-43,0% (7-11 сутки); количество каротиноидов – 2,5-6,2% (Рибав-Экстра) и 6,0-9,0% (Крезацин).

Изучение интенсивности фотосинтеза проводили в динамике у проростков пшеницы и ячменя в возрасте 7, 9 и 11 суток с учетом процессов дыхания. В вариантах на пшенице с препаратами Эпин-Экстра и Мивал-Агро у 11-суточных проростков ИФ увеличивалась на 9,6% и 17,7% соответственно (рисунок 7). При использовании Рибав-Экстра у проростков пшеницы в возрасте 7 суток ИФ возрастала на 22,5%, 9 суток – 15,6%, 11 суток – 18,0%. Использование препарата Крезацин повышало ИФ на 28,6-57,6% с увеличением эффекта у проростков от 7 до 11 суток.

ИФ у проростков ячменя в варианте с Рибавом-Экстра увеличивалась на 18,3% (7 суток), 10,0% (9 суток) и 12,6% (11 суток) (рисунок 8).

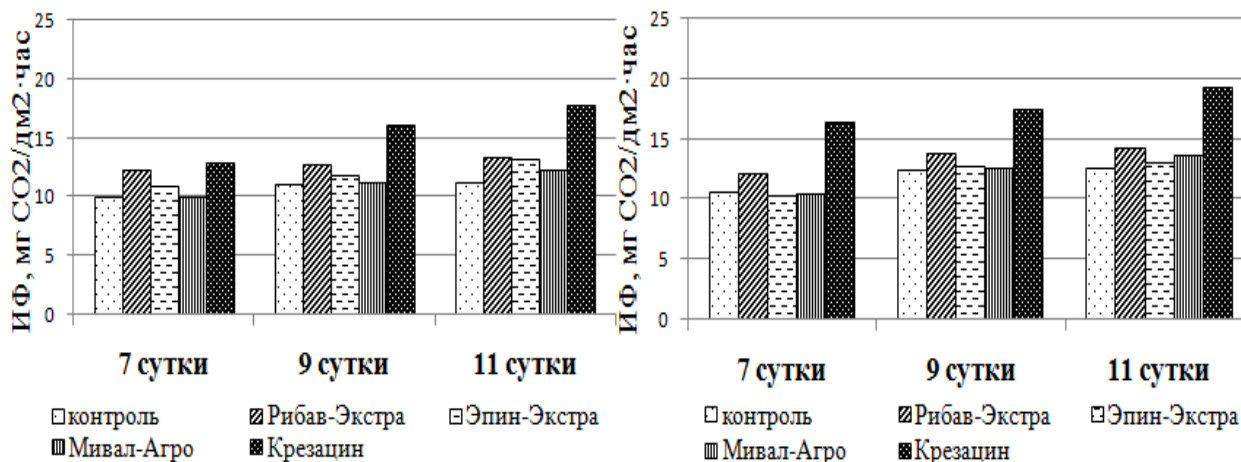


Рисунок 7 – Интенсивность фотосинтеза в проростках пшеницы

Рисунок 8 – Интенсивность фотосинтеза в проростках ячменя

Максимальные значения ИФ отмечены у проростков в варианте с препаратом Крезацин (увеличение на 39,2-53,4%). На основе корреляционного анализа установлена зависимость между содержанием пигментов хлорофилла $a+b$ и интенсивностью фотосинтеза: для пшеницы $R = 0,7279$, $y = 4,789x + 2,6245$, для ячменя $R = 0,8273$, $y = 8,4796x - 5,1723$.

Роль фотосинтеза в обеспечении энергозатрат клетки считается доминирующей при значительном подавлении дыхания в световую фазу. Однако взаимосвязь этих процессов в клетках растений является важным звеном в цепи общего метаболизма. Интенсивность дыхания проростков пшеницы в вариантах с препаратом Мивал-Агро увеличивалась на 5,5-8,1%, Рибав-Экстра – 2,8%-19,4% (max в возрасте 7 суток). Интенсивность процесса максимально возрастала в вариантах с Крезацином (в 1,9-2,3 раза).

Интенсивность дыхания проростков ячменя в вариантах с препаратом Мивал-Агро возрастала по сравнению с контрольными значениями на 5,3-13,9% (9, 11 сутки); Рибав-Экстра – 12,9% (7 сутки), 27,9% (9 сутки) и 14,0% (11 сутки). В наибольшей степени активации дыхания проростков способствовала обработка семян Крезацином (увеличение 75,1% (7 сутки), 94,8% (9 сутки) и 88,2% (11 сутки)). Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали положительную взаимосвязь между активностью пероксидазы и интенсивностью дыхания: для пшеницы $R = 0,7989$, $y = 0,0104x - 1,6193$, для ячменя $R = 0,8948$, $y = 0,0116x - 4,2407$.

Показатели ростовой и функциональной активности листового аппарата в онтогенезе растений, формирование биомассы и продуктивности посевов

Физиологическое состояние растений в течение вегетационного периода может быть оценено по функциям роста, так как данный процесс наиболее полно отражает все метаболические и функциональные изменения в онтогенезе (Шевелуха В.С., 1992).

Исследования, проведенные в полевых опытах, были направлены на изучение ростовых функций листьев, изменение сырой и сухой массы растений пшеницы и ячменя по основным фазам вегетации.

Мивал-Агро способствовал увеличению средней площади одного листа пшеницы (среднее за три года) по фазам вегетации на 18,6-48,9% (max в фазу кущения). Количество листьев достоверно увеличивалось в период трубкование-восковая спелость на 11,0-16,8% ($P < 0,05$). В вариантах с предпосевной обработкой семян Рибавом-Экстра и Крезацином фиксиро-

вали превышение контрольных показателей по средней площади одного листа на 15,0-35,8% и 29,5-48,9%, количества листьев на растении – 14,6-20,1% и 12,0-20,3% соответственно. Обработка семян ячменя Рибавом-Экстра и Крезацином вызывала увеличение площади одного листа на растении на 16,2-51,1% и 30,8-57,0%. Количество листьев достоверно увеличивалось в обоих вариантах в фазу колошения на 13,0-13,6% и в фазу кущения на 8,3% (Крезацин) ($P < 0,05$).

В онтогенезе растений пшеницы и ячменя в динамике по основным фазам вегетации фиксировали изменения сырой и сухой массы.

Фотосинтетическая деятельность растений в агроценозе определяется нарастанием листовой поверхности в период вегетации, количеством растений на единицу площади посева, длительностью фотосинтетического функционирования растений. В вариантах с применением препаратов Рибав-Экстра площадь ассимиляции посева ячменя в фазу колошения была выше контрольных значений на 65,4%, Крезацин – на 68,2 %. (таблица5).

Таблица 5 – Фотосинтетическая деятельность растений пшеницы и ячменя в агроценозах (2017-2019 гг.)

Вариант	ФП, тыс. м ² /га·сутки (за вегетационный период)	S лист.пов. агроценоза (фаза колошения), тыс.м ² /га	ЧПФ, г/м ² ·сутки (колошение - восковая спелость)
Пшеница			
Контроль	1376,81	25,54±2,65	10,04
Рибав-Экстра	2181,30	41,58±3,53	7,17
Эпин-экстра	1515,36	27,54±2,57	11,19
Мивал-Агро	2010,84	36,81±3,12	7,82
Крезацин	2246,37	40,68±4,11	8,52
Ячмень			
Контроль	1156,32	21,66±0,93	10,46
Рибав-Экстра	1867,04	35,90±1,14	8,45
Эпин-экстра	1318,12	24,24±1,38	12,72
Мивал-Агро	1268,05	24,87±0,54	12,64
Крезацин	1974,91	36,51±3,67	7,90

В вариантах с применением регуляторов роста Мивал-Агро данный показатель в агроценозе пшеницы увеличился на 44,1%, Рибав-Экстра – 62,8%, Крезацин – 59,3% .

Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали прямую взаимосвязь между площадью листовой поверхности агроценоза в фазу колошения и урожайностью: для пшеницы коэффициент корреляции составил 0,9587, уравнение регрессии $y = 0,030x + 1,969$, для ячменя $R = 0,9949$, $y = 0,040x + 1,816$.

Важной интегральной характеристикой динамики формирования посевов является фотосинтетический потенциал. В посевах пшеницы он возростал на 10,0% (Эпин-Экстра); 46,1% (Мивал-Агро); 58,4% (Рибав-Экстра); 63,2% (Крезацин). В посевах ячменя – 14,0% (Эпин-Экстра); 9,7% (Мивал-Агро); 61,5% (Рибав-Экстра); 70,8% (Крезацин). Корреляционно-регрессионный анализ показал прямую положительную корреляцию между величиной ФП и урожайностью: для пшеницы коэффициент корреляции составляет 0,9793, уравнение регрессии $y = 0,021x + 1,925$, для ячменя – $R = 0,9791$, $y = 0,017x + 1,846$.

Для оценки продуктивности работы листьев используется показатель чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ). Наименьшие значения ЧПФ преимущественно фиксировались в вариантах с большей листовой поверхностью, т.к. потребности растений в ассимилятах покрывались достаточной площадью листа без интенсивной нагрузки на хлоропласт.

Фотосинтетическая деятельность растений в период вегетации определяет конечную продуктивность растений, слагаемыми которой являются биологический и хозяйственный урожай. Мивал-Агро способствовал повышению сухой массы пшеницы (биологического урожая) на 42,8%, при этом урожайность увеличилась на 17,6%, Рибав-Экстра - на 27,2% и 18,4%, Крезацин - на 46,5% и 21,7% (таблица 6).

Предпосевная обработка семян Эпином-Экстра увеличивала сухую массу растений ячменя на 16,5%, Мивалом-Агро на 21,0%. Хозяйственный урожай в данных вариантах не возростал. Максимальные показатели по продуктивности в агроценозе ячменя получены в вариантах с Рибавом-Экстра и Крезацином.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали прямую зависимость между накоплением сухой массы и урожайностью: для пшеницы коэффициент корреляции составил $R = 0,9441$, уравнение регрессии $y = 0,124x + 1,535$, для ячменя $R = 0,9405$, $y = 0,207x + 0,791$.

Таблица 6 – Продуктивность агроценозов пшеницы и ячменя (2017-2019 гг.)

Вариант	$K_{\text{хоз}}$	Сухая масса растений, т/га	Урожайность, т/га
пшеница			
Контроль	0,28	9,40±0,36	2,67±0,11
Рибав-Экстра	0,26	11,96±0,62	3,16±0,09
Эпин-Экстра	0,26	10,98±0,50	2,87±0,12
Мивал-Агро	0,23	13,42±0,95	3,14±0,08
Крезацин	0,24	13,77±1,01	3,25±0,09
ячмень			
Контроль	0,30	8,71±0,87	2,69±0,05
Рибав-Экстра	0,28	11,64±1,05	3,31±0,06
Эпин-Экстра	0,28	10,15±0,39	2,80±0,07
Мивал-Агро	0,27	10,54±0,68	2,87±0,14
Крезацин	0,27	12,02±0,72	3,28±0,07

Предпосевная обработка семян пшеницы и ячменя препаратами Рибав-Экстра и Крезацин способствовала повышению биологической и хозяйственной продуктивности данных культур. Несмотря на снижение хозяйственной доли урожая в общей биомассе посева, данные регуляторы способствовали повышению урожайности в неоднозначных гидротермических условиях, складывающихся в годы исследований в регионе. Эффективность препарата Мивал-Агро экспериментально подтверждена только в агроценозе пшеницы.

Выводы

1. Обработка семян пшеницы и ячменя препаратами Рибав-Экстра и Крезацин приводит к сокращению временного промежутка прохождения основных этапов набухания семян. Достижение порогового значения 60% влажности на пшенице сокращается на 2 часа, ячмене – на 3 и 4 часа.

2. Суммарная активность α - и β -амилазы в зерновках пшеницы под действием регуляторов роста повышается в первые 3 часа набухания на 2,5-5,7% (Эпин-Экстра); 1,3-7,6% (Мивал-Агро); 7,7-10,0% (Крезацин);

12,5-15,1% (Рибав-Экстра), в зерновках ячменя – на 2,4-10,1% (Эпин-Экстра); 4,7-10,1% (Мивал-Агро); 7,1-17,0% (Рибав-Экстра); 9,5-20,8% (Крезацин).

3. Активность пероксидазы наиболее значимо увеличивается в первые 8 часов набухания семян. В зерновках пшеницы под действием регуляторов роста количество фермента возрастет в течение 24 часов набухания в 1,87-3,24 раза, зерновках ячменя – 1,89-4,29 раза. Степень эффективности препаратов: Эпин-Эстра < Мивал-Агро < Рибав-Экстра < Крезацин.

4. Предпосевная обработка Крезацином повышает энергию прорастания семян пшеницы на 6,9%, ячменя – 6,5%; лабораторную всхожесть пшеницы – 7,0%, ячменя – 10,6%. Рибав-Экстра повышает энергию прорастания семян пшеницы на 8,3%, ячменя – 8,9%; лабораторную всхожесть пшеницы – 10,4%, ячменя – 13,4%. Между показателями лабораторной и полевой всхожести существует высокая положительная корреляция.

5. Препараты Рибав-Экстра и Крезацин повышают скорость ростовых процессов проростков: длина ростка увеличивается на 43,1-55,6% (пшеница), 10,2-56,6% (ячмень); средняя длина всех корней – 29,1-50,6% (пшеница), 26,0-50,6% (ячмень); количество корней – 22,4-34,4% (пшеница), 17,6-19,1% (ячмень).

6. В проростках пшеницы и ячменя под действием препаратов Рибав-Экстра и Крезацин возрастает содержание хлорофилла *b* на 73,3-140,0%, суммарное содержание хлорофиллов (*a+b*) – 33,0-43,0%. Скорость фотосинтеза увеличивается на 10,0-57,6%.

7. Под действием регуляторов роста в проростках пшеницы и ячменя повышается активность пероксидазы на 27,1-128,2%, интенсивность дыхания возрастает на 5,3-13,9% (Мивал-Агро); 2,8-27,9% (Рибав-Экстра); 75,1-131,0% (Крезацин).

8. Препараты Мивал-Агро, Рибав-Экстра и Крезацин увеличивают среднюю площадь листа и количество листьев у растений пшеницы в течение вегетационного периода. У растений ячменя возрастает средняя площадь листа одного растения под действием Крезацина и Рибав-Экстра.

9. Листовая поверхность посева пшеницы в среднем за три года возрастает при предпосевной обработке семян регуляторами роста Мивал-Агро, Рибав-Экстра и Крезацин на 35,2-79,7%, ФП вегетационного периода увеличивается на 634,0-869,6 тыс. м²/га·сутки. В посевах ячменя ассимиляционная поверхность возрастает на 28,9-86,2%, ФП увеличивается на 710,7-818,6 тыс. м²/га·сутки под действием препаратов Рибав-Экстра и

Крезацин. Максимальный стимулирующий эффект на формирование листовой поверхности проявляется в период кущение-выход в трубку.

10. Регуляторы роста повышают биологическую продуктивность растений пшеницы на 16,8-46,5%, ячменя – на 16,5-38,0%. Урожайность пшеницы составила 3,14 т/га, прибавка к контролю 0,47 т/га (Мивал-Агро); 3,16 т/га, прибавка к контролю 0,49 т/га (Рибав-Экстра); 3,25 т/га, прибавка к контролю 0,58 т/га (Крезацин). Урожайность ячменя – 3,28 т/га, прибавка к контролю 0,59 т/га (Крезацин); 3,31 т/га, прибавка к контролю 0,62 т/га (Рибав-Экстра).

Предложения производству

С целью повышения биологической продуктивности и хозяйственного урожая яровой мягкой пшеницы Экада 113 и ячменя Сурский фаворит в агроклиматических условиях Пензенской области рекомендуем проводить предпосевную обработку семян следующими регуляторами роста: пшеница – Рибав-Экстра ($3 \cdot 10^{-3}$ л/л в расчете 10 л на 1 т), Крезацин ($1 \cdot 10^{-3}$ л/л в расчете 10 л на 1 т), Мивал-Агро (0,5 г/л в расчете 10 л на 1 т); ячмень – Рибав-Экстра ($3 \cdot 10^{-3}$ л/л в расчете 10 л на 1 т), Крезацин ($1 \cdot 10^{-3}$ л/л в расчете 10 л на 1 т).

Список трудов, опубликованных по теме диссертации публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Г.А. Карпова, Д.Г. Теплицкая. Влияние регуляторов роста на формообразовательные, ростовые и физиологические процессы в онтогенезе растений пшеницы и ячменя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2019. № 4 (28). С. 16-25.

2. Д.Г. Теплицкая, Г.А. Карпова. Влияние регуляторов роста на метаболическую активность семян *Triticum aestivum* L. и *Hordeum sativum* L. при прорастании // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 1. С. 3-12.

публикации в других изданиях:

3. Г.А. Карпова, Д.Г. Теплицкая. Ростовые процессы растений яровой мягкой пшеницы Экада 113 при предпосевной обработке семян регуляторами роста // Роль вузовской науки в решении проблем АПК: сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Г.Б. Гальдина. Т.1. Пенза: РИО ПГАУ. 2018. С. 289-292.

4. Г.А. Карпова, Д.Г. Теплицкая. Формирование листового аппарата растений яровой мягкой пшеницы Экада 113 в агроклиматических условиях

Пензенской области при использовании регуляторов роста // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 7. С. 53-57.

5. Г.А. Карпова, Д.Г. Теплицкая. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза растений яровой мягкой пшеницы Экада 113 при использовании регуляторов роста // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 52-4. С. 93-95.

6. Г.А.Карпова, Д.Г.Теплицкая, Л.П.Лашкевич. Фотосинтетическая деятельность растений в период вегетации при использовании регуляторов роста // Современная мировая экономика: проблемы и перспективы в эпоху развития цифровых технологий и биотехнологии: сборник научных статей по итогам работы девятого международного круглого стола. Москва. 2019. С. 272-274.

7. Д.Г. Теплицкая. Активность пероксидазы в прорастающих семенах *Triticum aestivum* при использовании регуляторов роста // Всероссийская научно-практическая конференция «Современная биология и биотехнология: проблемы, тенденции, перспективы». Волгоград. 2021. С.23-25.

8. Д.Г. Теплицкая, Г.А. Карпова. Особенности ростовых процессов растений ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.) под действием регуляторов роста // Международная научная конференция «Механизмы регуляции продукционного процесса растений: от молекул до экосистем» в рамках V Ефремовских чтений. Орёл. 2021. С. 4-9.

Научное издание

Теплицкая Дарья Геннадьевна

**МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОНТОГЕНЕЗЕ
РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ
ОБРАБОТКЕ СЕМЯН РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА
В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

03.01.05 – Физиология и биохимия растений

Подписано в печать 23.03.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 165.

Издательство Пензенского государственного университета

440026, Пенза, ул. Красная, 40

Тел. (8412) 66-67-77